Sección Técnico-Científica

Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Negro

Transcribimos, por considerarlo de interés para nuestros lectores, una breve información proporcionada por la Administración General de las Usinas Eléctricas y los Teléfonos del Estado, referente a las obras que actualmente se realizan para el aprovechamiento hidroeléctrico del Río Negro.

La República Oriental del Uruguay, a ejemplo de otros países, se ha abocado desde tiempo atrás, al estudio de la posibilidad de la utilización de sus recursos hidráulicos para la producción de energía. Esta necesidad se ha hecho sentir tanto más ya que hasta el momento, a pesar de las investigaciones realizadas, no se han hallado yacimientos de combustibles, tales como petróleo o carbón.

De los numerosos ríos que surcan el territorio de la República, el Río Negro ofrece las mejores posibilidades para un aprovechamiento económico y con una capacidad tal que permitirá cubrir la demanda de energía por varios decenios. El Río Negro es el río más grande del país; su desarrollo total es de 850 Km. aproximadamente y su cuenca entera 86.200 Km^2.

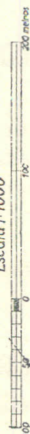
Este río nace fuera del país, en el Estado de Río Grande del Sur, Brasil, pero esta parte de su cuenca abarca sólo 2.500 Km^2.

La pendiente en todo el cauce del río, es casi constante, no existiendo saltos de magnitud; por lo tanto, para un aprovechamiento económico de la fuerza hidráulica, se tuvo que proyectar un represamiento bastante considerable, cerrando el río por medio de una presa e instalando junto a ésta la Usina Hidráulica para aprovechar el desnivel entre las aguas de las retenidas y las aguas en el curso normal. Para la elección entonces, del punto para la construcción de la presa, debió procederse sobre la base de las condiciones orográficas y geológicas.

El ancho del cauce del Río Negro, muy variable a consecuencia de sus muchos afluentes, se estrecha únicamente en pocos sitios, en que las cuchillas se acercan mucho en ambas márgenes.

Varios fueron los puntos estudiados, habiéndose elegido el lugar denominado Rincón del Bonete, situado unos diez kilómetros aguas arriba de Paso de los Toros, donde se encontró en una quebrada relativamente cerrada de una cuchilla sólida, un perfil favorable desde los puntos de vista topográficos y geológicos, que presenta un aspecto satisfactorio respecto a la solidez e imper-

MONTEVIDEO


Planimetria del dique
toma, usina y estación de transformación
Escala 1:1000
Dique a contrafuertes
M.O.P. Dirección de E. hidroeléctricos
Aprovechamiento Hidroeléctrico del
Río Negro
Obra Rincón del Bonete
Variante I
Dr. Ing. A. Ludin
Plano No 6
Archivo No 652
laguna
Río Negro
canal inferior
canal superior
Perfil II
Mojón I
Mojón II
puente de servicio

meabilidad de los mantos meláfidos que se extienden desde la cuchilla hasta 125 metros debajo del fondo del río.

La altura normal de las lluvias en la zona del embalse es de unos 1.100 mm. en término medio, siendo la repartición de estas precipitaciones sobre las estaciones del año, muy irregular.

A pesar de la irregularidad del escurrimiento que acompaña las precipitaciones, pueden diferenciarse con toda claridad los períodos anuales de mucha y poca agua. Existe un período de mucha agua desde fines de Abril hasta fines de Octubre, y un período de poca agua desde fines de Octubre a fines de Abril.

El río tiene un régimen de fuertes fluctuaciones según los períodos de sequía y crecidas, pudiendo calcularse que en el Rincón del Bonete alcanza valores del orden de los 9.000 m^3./seg. en alguna crecida extraordinaria, correspondiente a un nivel de 18 metros sobre el estiaje. Por otra parte, durante períodos de sequía de varios años, el caudal de verano se reduce casi a cero, y el caudal medio anual baja la cuarta parte del promedio de muchos años.

Los valores característicos para el caudal del Río Negro, medidos en la escala de Rincón del Bonete, en el período de 1909 a 1932, son los siguientes:

Estiaje	20	m^3./seg.
Gasto medio	444	»
Gasto máximo producido al menos una vez por año	460	»
Gasto máximo producido a lo más tres veces en el período 1909 - 1932	4340	»
Id. id. id. dos veces	4920	»
Id. id. id una vez	5400	»

El embalse de la presa tendrá dimensiones extraordinarias. A pesar de la altura del dique, relativamente reducida, —40 metros aproximadamente,— el remanso, a causa de la poca pendiente del río, alcanzará más o menos 140 Km. medidos por el eje del lago.

Para la cota más 83 metros correspondiente al nivel normal superior a la etapa final del proyecto, el lago abarcará una superficie de 1.480 Km^2. y un volumen de 12.7 Km^3.

Para la primera etapa, que es la que se está construyendo actualmente, el nivel normal superior es de más 80, al que corresponde una superficie de 1.150 Km^2. y un volumen de 8,7 Km^3.

El volumen extraordinario del embalse permitirá compensar las fluctuaciones del Río Negro, de manera que podrán satisfacerse todas las exigencias de demanda de energía y agua También las sequías extraordinarias que se presentan con intervalos de varios años y duran más de un año, podrán vencerse sin dificultad por el embalse.

La creación de este lago artificial afectará a una zona casi completamente despoblada, siendo los terrenos que se inundarán, de reducido valor.

M.O.P. Dirección de E. hidroeléctricas

Aprovechamiento Hidroeléctrico del

Río Negro

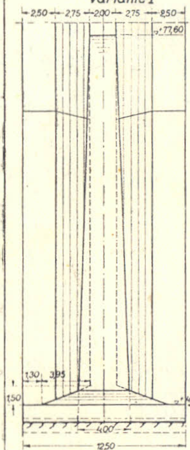
Obra Rincón del Bonete

Variante I

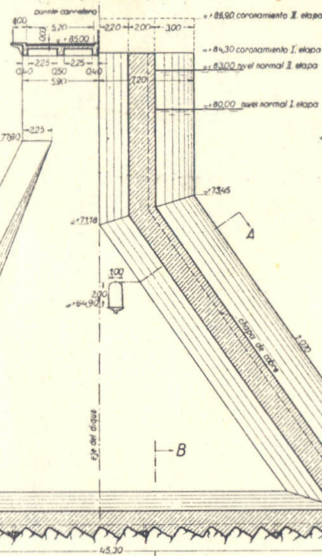
Dique a contrafuertes de cabeza redonda

Escala 1:100

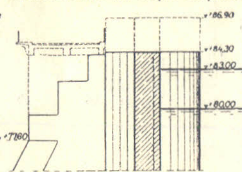
Vista de la parte posterior de un contrafuerte



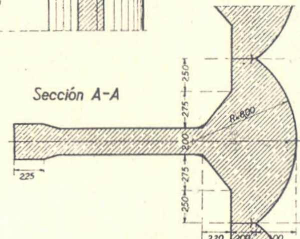
Sección por el dique



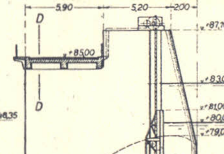
Coronamiento del dique sin puente



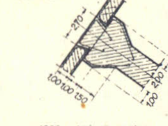
Sección A-A



Sección por el vertedero

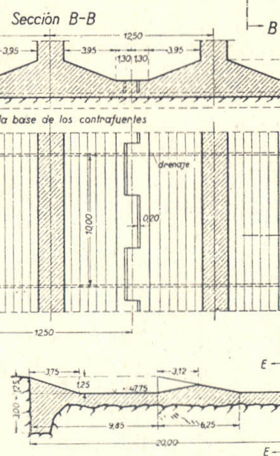


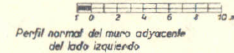
Sección C-C



Sección B-B

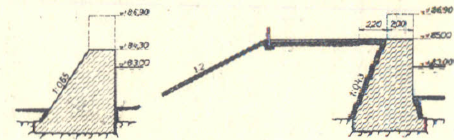
Endentado en la base de los contrafuertes



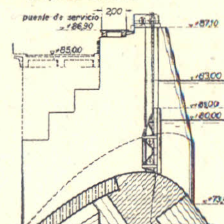


Perfil normal del muro adyacente del lado izquierdo

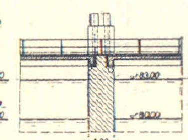
Perfil normal del muro adyacente del lado derecho con carretera



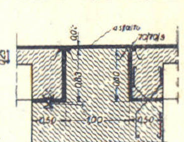
Coronamiento del vertedero sin puente carretero



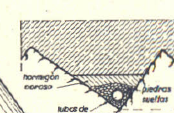
Sección D-D por el puente



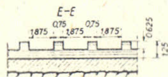
Detalle de los apoyos del puente



Detalle del sistema de drenaje



E-E



Dr. Ing. A. Ludin

Dique a contrafuertes de cabeza redonda

Escala 1:100

Plano Nº 9

Archivo Nº 659

En cuanto a las condiciones del sub-suelo y respecto a la impermeabilidad, las pérdidas por infiltración de acuerdo con los estudios practicados, quedan dentro de los límites económicos de la obra.

La presa será construída en forma de dique a contrafuertes de cabeza redonda semejante a la del Río Salado (Méjico) según proyecto del Ingeniero J. A. Noetzli, basado en el principio de que la trasmisión de la presión del agua se efectúa directamente a las paredes del contrafuerte por medio de las cabezas redondas.

Las cotas superiores del muro, de acuerdo con los cálculos económicos, serán de más 84.30 para la primera etapa y más 86.90 para la etapa final.

Para la etapa que se construye actualmente, el dique se compondrá de las tres partes siguientes:

Muro hueco de 800 m de largo.

Muro macizo de gravedad en la margen derecha, de 41 m. de largo.

Muro macizo de gravedad en la margen izquierda, de 330 m. de largo, con una longitud total de 1.171 mts.

El dique a contrafuertes, se compone de: 1.°) una parte de sección regular que no será sobrepasada por el agua; 2.°) la parte delantera de la Usina con los dispositivos de la toma; 3.°) la parte del vertedero.

La parte del dique que no será sobrepasada por el agua, estará subdividida en unidades de 12,50 de ancho formadas por una cabeza redonda con su correspondiente contrafuerte.

Entre las unidades que componen el muro, se colocará una junta de chapa de cobre que a más de cerrar el paso del agua, llena la función de permitir la libre dilatación del dique.

La parte delantera de la usina, por razones constructivas se compondrá de unidades de 10m875 de ancho correspondiente a la mitad de la distancia entre los tubos de presión de las turbinas. Las paredes de los contrafuertes de 2 m de espesor serán ejecutadas en hormigón sin armar, mientras que las planchas de fundación de dichos contrafuertes serán hechas de hormigón armado.

Con el objeto de evitar probables subpresiones, las planchas de fundación se proyectaron con una separación entre las bases de los contrafuertes de 20 cm.

El vertedero tiene un ancho total de 148 m. y será dividido en 12 tramos de 10m50 de luz, por 11 pilas de 2 m. de espesor.

La cresta del vertedero está a la cota más 76; para la etapa final se elevará dicha cota a más 79.

La carpeta posterior del vertedero será construída en hormigón armado e irá ensamblada a las cabezas de los contrafuertes, los que estarán armados en tal lugar.

La economía del proyecto exigió una compensación entre las dimensiones del vertedero y el volumen regulador de crecidas. La capacidad más económica del mismo se calculó para un nivel normal más 80.00 al comenzar la

M.O.P. Dirección de E. hidroeléctricos

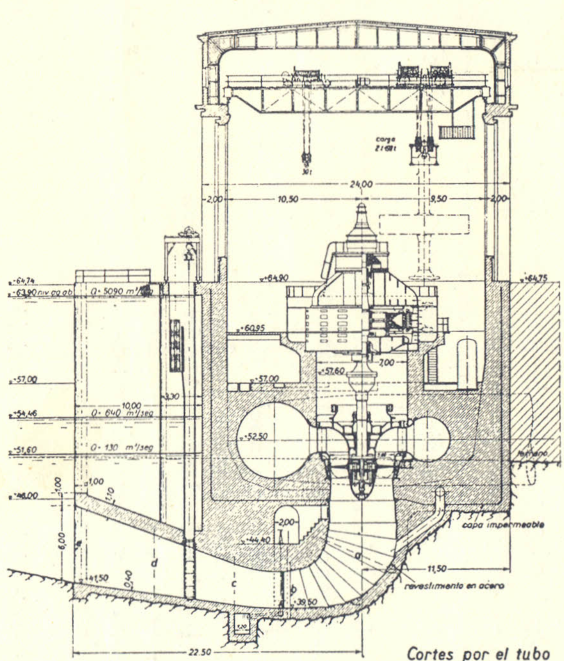
Aprovechamiento Hidroeléctrico del

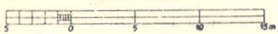
Río Negro

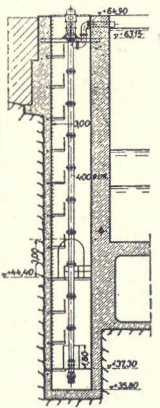
Obra Rincón del Bonete

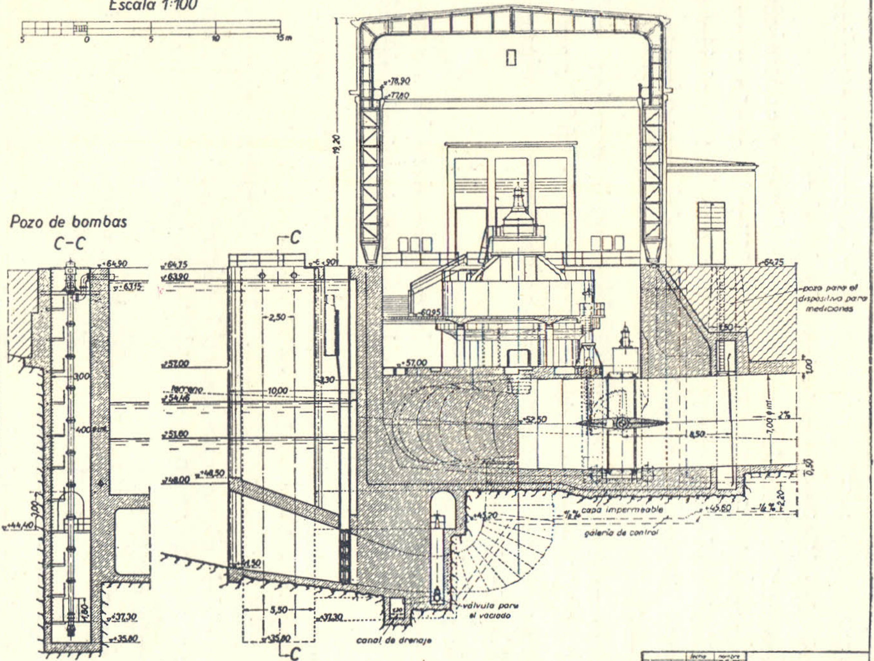
Usina

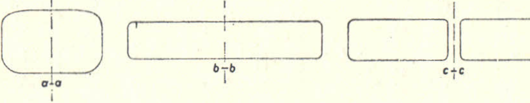
Cortes transversales











Dr. Ing. A. Ludin

Escala 1:100

Usina

Cortes transversales

Plano Nº 27

Archivo Nº 874

crecida, en 4450 m^3./seg. alcanzando entonces el nivel del embalse a la cota más 82.80 m.

La forma del lecho amortiguador que tiene la función de regularizar la superficie debajo del vertedero y defenderla contra la erosión, fué determinada a base de ensayos hechos con modelos. La superficie del lecho está a la cota más 47m75, ésto es, 1m25 debajo de la superficie de la roca adyacente (cota más 49).

Las condiciones del subsuelo son suficientes para la construcción de la represa, pero la existencia de rocas menos sólidas bajo los cimientos del dique obligan a no exagerar las cargas que actúan sobre el subsuelo.

En el proyecto se procuró reducir, por consiguiente, los esfuerzos de compresión del terreno, adoptándose para tal fin una construcción favorable a estas circunstancias como es el tipo de muro hueco de hormigón con contrafuertes y una carpeta de cabezas redondas macizas (sistema Noetzli), que de acuerdo con los cálculos estáticos realizados para el proyecto, se obtendrán esfuerzos de compresión reducidos repartidos uniformemente sobre el terreno, para la etapa final, así como valores también bajos para los esfuerzos principales máximos a que está sometida la masa misma del muro.

Usina del Rincón del Bonete

La Usina se instalará dentro del cauce del río contra la margen derecha.

La planta de generación comprende cuatro máquinas. Las turbinas serán Kaplan - Voith de eje vertical, rodete de seis aletas, regulación automática del distribuidor (exterior) y del rodete (posición de las aletas) siendo ambas regulaciones accionadas por el mismo regulador.

La potencia de cada unidad es de 41.000 HP. para una caída bruta de (más 76) - (más 54.50) = 21.50 m., pudiendo alcalzarse, para las mayores caídas, la máxima potencia de 45.000 HP. El n.r.p.m. es de 136.

La carcasa espiral es de chapas remachadas, de acero con 0.2 a 0.3 °/₀ aleación de cobre.

Los tubos de presión son también remachados, de acero con 0.2 a 0.3 °/₀ de Cu, de 7 m. de diámetro, de 42.5 m. de largo. En la toma de cada tubo, que es de hormigón armado, se dispondrá una reja fija; cada tubo tiene un cierre de emergencia en la entrada; se disponen además, válvulas de mariposa para el cierre normal durante el servicio, las que se hallarán dentro de la casa de máquinas, delante de las carcasas espirales. Las rejas de entrada, los cierres de emergencia, son también de acero con 0.2 a 0.3 °/₀ de aleación de Cu.; las aletas de la rueda motriz son de acero fundido con 13 °/₀ de cromo.

Los generadores son alternadores sincrónicos de eje vertical, de rueda polar, para una tensión de 7 k.V. y frecuencia 50 per/s. y con un momento de inercia del rotor de 6100 $t.m^2$. Se dispondrá una excitatriz principal (excitación del alternador) y otra auxiliar (excitación de la anterior) en cuyo circuito

M.O.P. Dirección de E. hidroeléctricos
Aprovechamiento Hidroeléctrico del
Río Negro
Obra Rincón del Bonete.
Usina
Corte longitudinal
I-I (ref. plano Nº 25)
casa de comando
planta baja para tableros
corredor
canales para los cables
taller
depósito de aceite
grúa
carga
generador
válvula de mariposa
turbina
capa impermeable
galería de control
válvulas para el vaciado
nivel aguas abajo
marco para tapar los nichos
canal de drenaje
terreno
II-II (ref. plano Nº 25)
Corte longitudinal por la casa del motor Diesel
hervidor del aceite
relleno
terreno
Escala 1:100
Leyenda
1 accionamiento de la válvula de mariposa
2 depósito de aceite con bomba } para el aceite a presión del regulador
3 cámara de aire comprimido
4 servomotor para la rueda motriz
5 grúa para los cierres de emergencia
Dr. Jng. A. Ludin
Usina
Corte longitudinal
Plano Nº 26
Escala 1:100

de excitación acciona la regulación automática de la tensión. Ambas excitatrices van sobre prolongaciones del eje del alternador.

Se dispondrá regulación automática de la tensión de generación, mediante reguladores rápidos Thoma influenciados por la tensión y por la corriente, de manera de mantener constante la tensión de consumo en Montevideo (lado 30 k.V. de los transformadores principales de Montevideo).

Los alternadores tendrán refrigeración por circulación forzada de aire en circuito cerrado (ventiladores radiales a ambos lados de la rueda polar) con aire refrigerado en refrigeradores dispuestos apropiadamente.

El estator es de ranuras abiertas con un número de ranuras por polo y fase grande para tener una buena curva de tensión. El arrollamiento del estator está dividido en dos ramas, cada una de las cuales se conecta al correspondiente arrollamiento parcial 7 k V. del transformador principal que también está dividido en dos ramas (disminución de las intensidades de c. c. en arrollamiento 7 k.V. gènerador y transformador ŷ trayecto entre ambos).

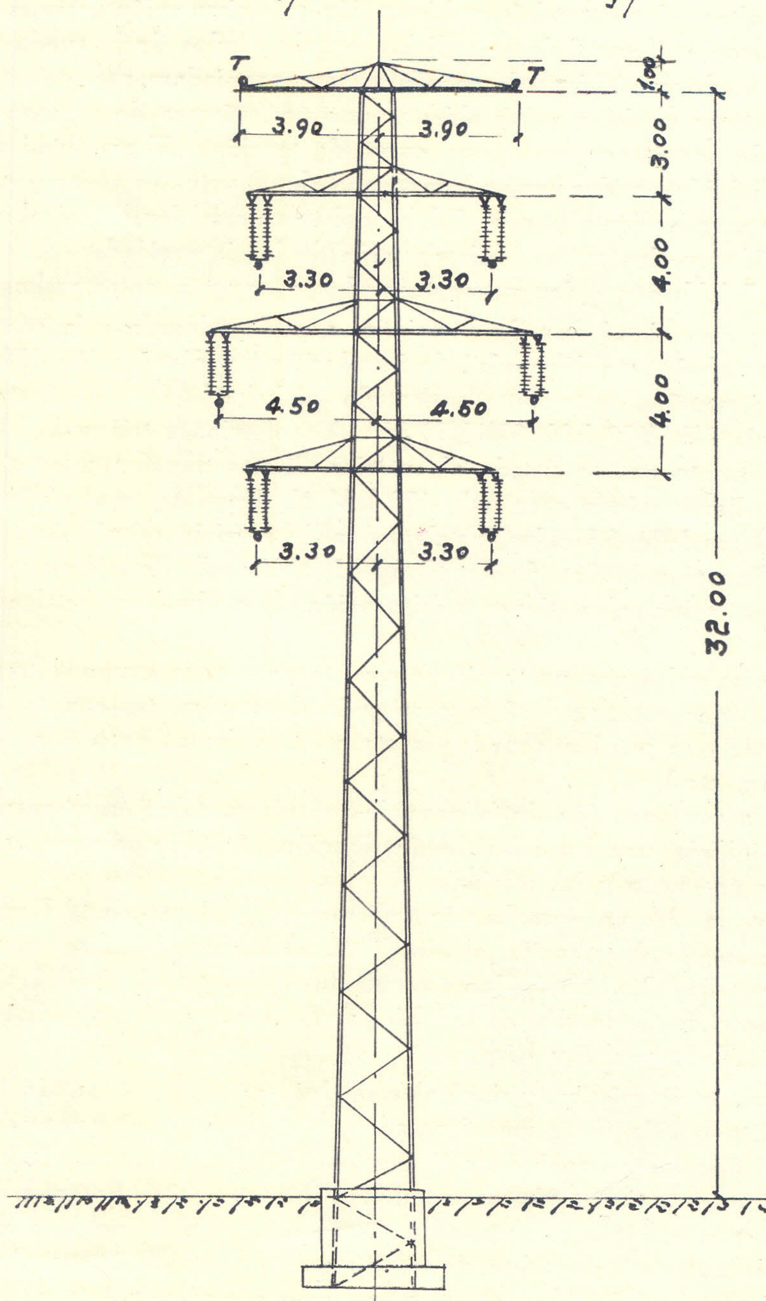
Sobre una plataforma de hormigón armado adosada a la casa de máquinas, aguas abajo, se dispondrá la instalación de distribución 170 k V. Cada alternador estará directamente conectado al lado 7 k V. de un transformador de potencia 7/6.3/170 k.V. 32/10/32 M.V.A. conexiones triángulo, triángulo, estrella con punto neutro sacado al exterior. Estos transformadores (Traf. principales) alimentarán por su lado 170 k.V la línea de transmisión a Montevideo, y por su lado 6.3 a las instalaciones de servicio propio de la Central Rincón del Bonete y la Est. de Tranf. 6.3/63 k V. de la Red Nacional. Los transformadores principales tienen refrigeración por agua en refrigeradores separados.

Se dispondrá una protección completa para cada grupo alternador - transformador, que comprenderá la protección de uno y otro contra cada uno de los defectos que puedan ocurrir (a masa entre fases, entre espiras, aumentos de tensión, etc.).

En la prolongación de la casa de máquinas, sobre la margen derecha, se halla el edificio con las salas de distribución, instalaciones de servicio propio y sala de comando y las oficinas.

Sobre la margen derecha, inmediatamente delante de la Usina, se hallará la instalación de distribución al aire libre, 63 k.V., para la red nacional. Comprende ella dos transformadores reguladores 6.3 $\pm$ 10 °/₀/63 k.V., 10 M.V.A. para el servicio de las líneas 63 k.V. a Durazno y Arroyo Grande, Salto y Paysandú, Tacuarembó y Rivera.

Como características principales de los equipos que forman las instalaciones de distribución, debe mencionarse que: todos los interruptores de potencia serán del tipo de expansión de S. Sch. W. A.G.; los neutros 170 k.V. y 63 k.V. serán puestos a tierra mediante bobinas de extinción Patersen de capacidad adecuada a las líneas correspondientes; se dispondrán bobinas de compensación de la corriente de carga de las líneas, las que irán conectadas una a cada arrollamiento de 6.3 k.V. de los transformadores principales; como no habrán


Obra Rincón del Bonete
Línea aérea 150 KV. Mastil portante_Tramo urbano
6xCu 150mm² x 12kg/mm² + 2 Fe 50mm² x 16 kg/mm²
T
T
1.00
3.90
3.90
3.00
4.00
3.30
3.30
4.00
4.50
4.50
3.30
3.30
32.00

descargas de fondo en la presa, se dispondrá una resistencia hidráulica trifásica para una potencia de 32 000 k.V., que permitirá (aparte, efectuar las pruebas de recepción) hacer funcionar bajo carga una turbina aún cuando no haya demanda de energía en las instalaciones de distribución, pudiéndose así mantener cierto nivel aguas abajo; todos los accionamientos son por aire comprimido y a distancia; una batería de acumuladores de 120 elementos suministra energía necesaria para parte del alumbrado (conectado permanentemente) y para los circuitos de mando y señales de la instalación de distribución principal y de las instalaciones de protección; para la puesta en marcha de la central parada y como reserva para las instalaciones de consumo propio, se montará un grupo Diesel - generador de una potencia de 1200 k.V.A. con cos. $\varphi = 0.8$.

Línea de Transporte de Energía Rincón del Bonete - Montevideo

La tensión nominal de transporte es 170/150 k.V. Se montarán dos ternas de mástiles, independientes, separadas unos 100 m, salvo en la parte urbana y sub - urbana de Montevideo donde las dos ternas irán en los mismos mástiles.

El conductor será cable de cobre hueco de 23 mm. diámetro exterior y 150 mm^2. de sección.

Cada línea lleva dos hilos de guardia constituídos por cables de acero galvanizado de 50 mm^2. de sección.

Las dos líneas rurales (unos 220 Km.) irán soportadas en mástiles de doble montante (pórticos) con los tres conductores en el interior de los mismos y los hilos de guardia en prolongaciones de los montantes; los tres conductores irán, pues, dispuestos en un plano horizontal; los vanos serán de 300 m. y la distancia al suelo del punto más bajo de los conductores, en las condiciones más desfavorables de temperatura, será de por lo menos 7 m.

En los tramos sub - urbano y urbano, los vanos serán de 200 y 150 m., la altura del conductor sobre el suelo 10 m. y 15 m., respectivamente.

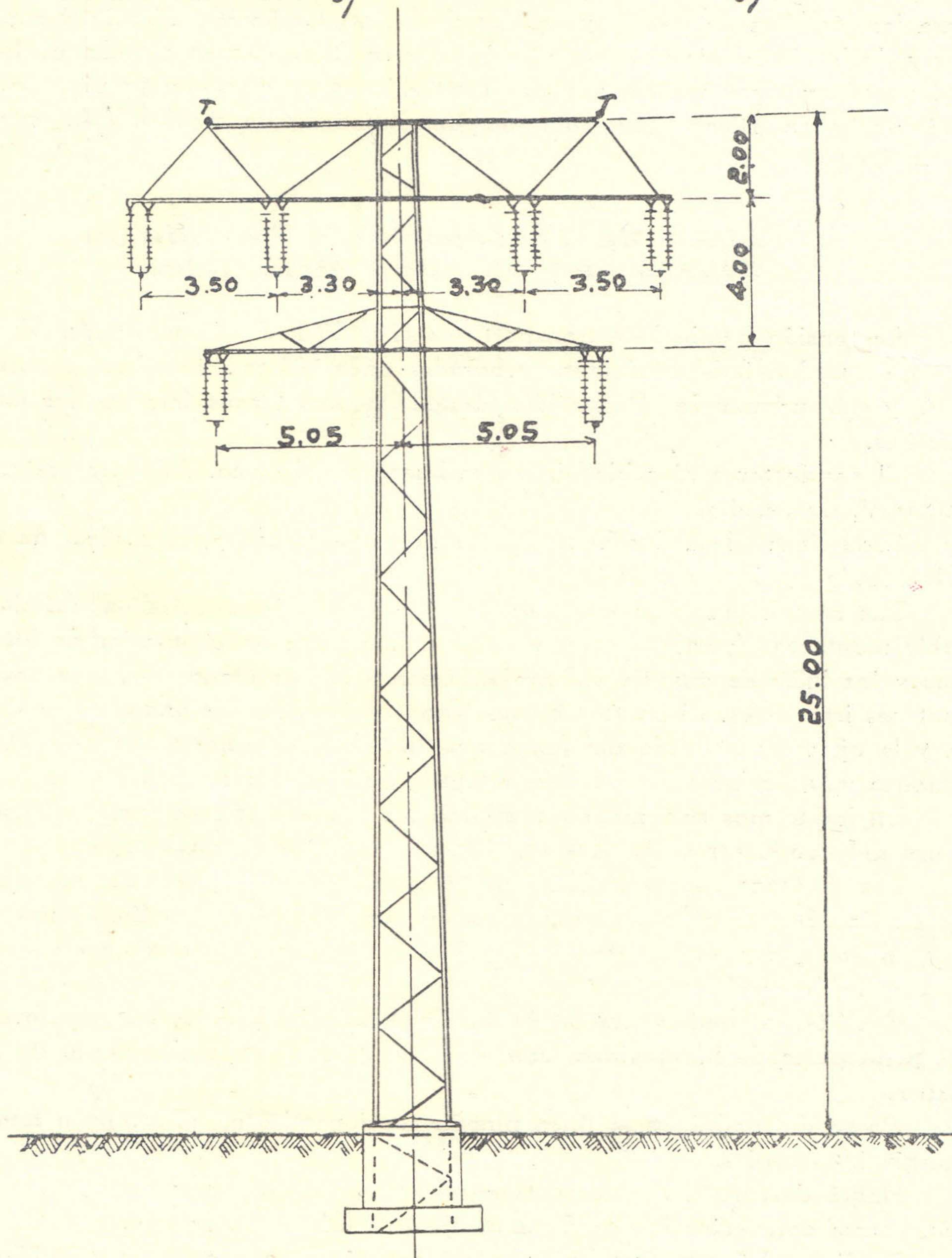
Las cadenas aislantes serán de 11 elementos normales de capuchón y perno, de 254 $\times$ 125 mm, simples en las suspensiones de la línea rural y dobles en anclajes y en los tramos urbano y sub - urbano, así como en los cruces de carreteras y vías férreas.

Cada terna suministrará 58 M.W. en el lado 30 k.V. de los transformadores principales de Montevideo, con cos. φ igual 1 en dicho punto de suministro.

No se dispondrá en la línea ningún seccionamiento, ni tampoco toma de energía intermedios.

Habrá descargadores de sobretensiones en los dos extremos. La protección contra corto - circuitos se hará mediante relais de impedancia.

Se dispondrá una instalación telefónica A.F. con ondas conducidas por


Obra Rincón del Bonete
Línea aerea 150 KV. Mástil portante. Tramo suburbano
6xCu 150 mm² x 12 kg/mm² + 2 x Fe 50 mm² x 16 kg/mm²
T
T
2.00
4.00
3.50
3.30
3.30
3.50
5.05
5.05
25.00

los mismos conductores de energía, con la cual se establecerá la comunicación entre las Centrales Rincón del Bonete y Montevideo.

Todos los mástiles serán provistos de puesta a tierra mediante placas, tubos, cintas o contrapesos, según la naturaleza del suelo.

Las cadenas aislantes estarán protegidas mediante anillos de guardia superior e inferior.

Todos los mástiles son de acero galvanizado al fuego. En el cálculo de los mástiles se consideró un viento de 150 Kg/m^2. sobre superficie plana. Para el cálculo de las flechas de los cables, se consideró un viento máximo de 150 Kg/m^2. a + 10° C. de temp. y una temperatura máxima de 50° C. sin viento .

Estación Montevideo

Estará ubicada al costado de la Central térmica "José Batlle y Ordóñez". A ella llegarán directamente las dos líneas aéreas 150 k.V. las que, mediante un doble juego de barras ómnibus separables cada una en dos secciones y acoplables en paralelo, alimentarán los transformadores principales.

Los transformadores principales permiten alimentar las barras 30 k.V. de distribución para la red 30 k.V. de Montevideo mediante la Central Rincón del Bonete o la Central "José Batlle y Ordóñez" o ambas en paralelo. Son transformadores de tres arrollamientos, 150/6.3/31.5 k.V., conexiones estrella, triángulo, estrella. Van conectados directamente uno a cada uno de los turbo-generadores de la Central "José Batlle y Ordóñez". La potencia será 29/31/60 M.V.A. para los dos conectados a los actuales turbo-alternadores y de 29/43/72 M.V.A. para los dos conectados a los nuevos turbo-alternadores. Se instalará además, un tercer transformador 29/31/60 M.V.A., que irá conectado por su lado 6.3 k.V. a uno de los juegos de barras ómnibus 6.3 k.V. de la Central "José Batlle y Ordóñez"; servirá para reserva o para interconectar la Central "Ing. Santiago Calcagno".

Son con enfriamiento por agua en radiadores independientes.

Los neutros 150 k.V. están sacados al exterior y conectados a una barra neutra para la conexión de la bobina Petersen tal como en Rincón del Bonete.

Los lados 30 k.V. alimentan un doble juego de barras ómnibus separables longitudinalmente en dos mitades y acoplables en paralelo. De este sistema de barras se hace la distribución para la red 30 k.V. de Montevideo, estación de transformación 30/63 k V. de la red nacional (futura) y transformadores 30/6.3 k V. para la Central "Ing. Santiago Calcagno".

Los neutros 30 k.V. están sacados al exterior de la cuba y conectados a una barra neutra para la conexión de bobinas Petersen para la compensación de la corriente de falta a tierra en la red 30 k.V.

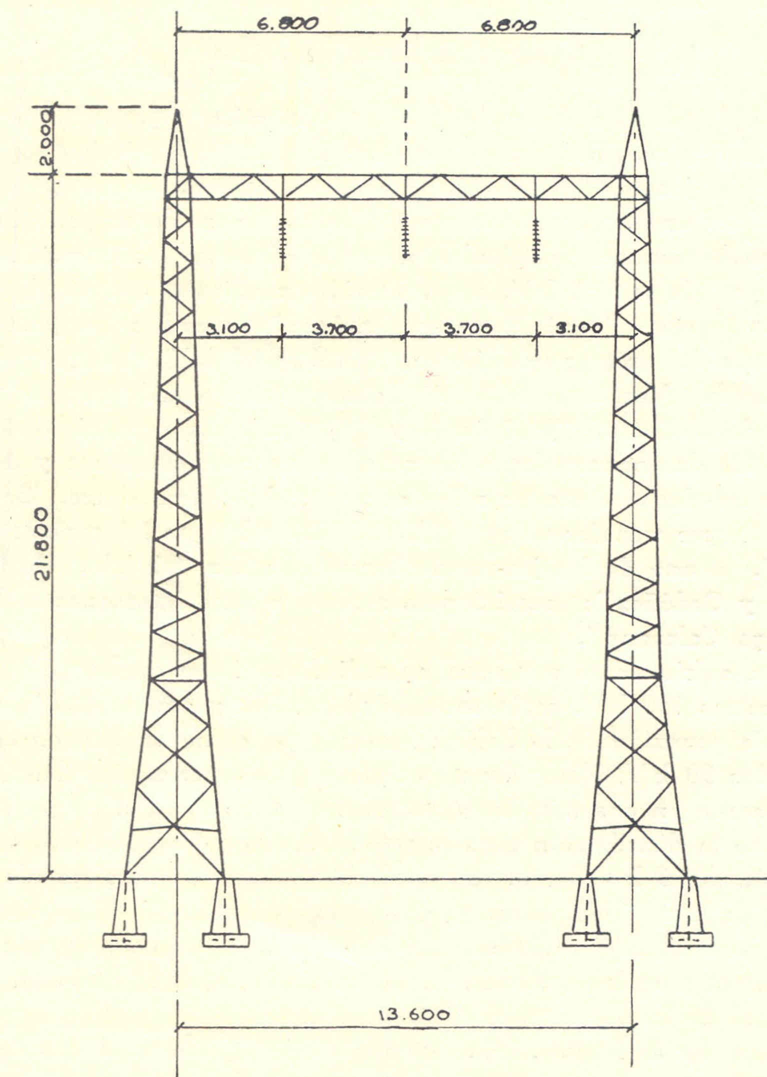
Sobre las barras 30 k.V. irán también conectadas las bobinas de compensación de la corriente de carga de la línea y redes que con las instaladas en Rincón del Bonete, completarán la potencia total necesaria.

Comprende también, la Estación Montevideo, dos transformadores regu-

Obra Rincón del Bonete

Línea aerea 150 K.V. Mástil portante. Tramo rural.

3 x Cu. 150 mm² x 16 Kg/mm² + 2 x Fe. 50 mm² x 21 Kg/mm²



ladores 31.5 $\pm$ 10 °/₀ / 6.3 k.V., 20 M.V.A. con los cuales se alimentará uno de los juegos de barras 6.3 k V. de la actual sala de distribución de la Central "José Batlle y Ordóñez" para alimentar parte de la red 6 3 k.V. de Montevideo. Las conexiones son estrella, triángulo; la refrigeración es por agua, exterior al transformador.

Los transformadores principales y los de 20 M.V.A. están protegidos mediante relais Buchholz, control de temperatura, protección diferencial y de máxima.

Para los cables de la red Montevideo se dispondrá protección tripolar direccional (comparación de dirección de la corriente), combinada con protección de sobre - intensidad.

Para los que van a la estación de transformación 30/63 k.V. de la red nacional, protección octogonal de equilibrio de energía (dos cables en paralelo).

Los accionamientos son: eléctrico, a distancia, por intermedio de acumuladores de energía, para los interruptores de potencia; y mecánico, a mano, para los seccionadores.

Los interruptores de potencia son todos de aire comprimido, de fabricación A.E.G., montándose una planta de compresión adecuada a la cantidad de aire necesario.

Para el mantenimiento en condiciones del aceite aislante se instalará una planta secadora de aceite (calentamiento en vacío) y una planta de regeneración (tratamiento sucesivo con SO^4H^2, tierra básica, tierra regeneradora y filtro - prensa.

Para Rincón del Bonete sólo se previó una planta secadora de aceite.

Los cables de unión entre la instalación de distribución al aire libre y la Central "José Batlle y Ordóñez" irán en un canal de cables con ventilación forzada.

———

La energía necesaria para el abastecimiento de Montevideo y de la red nacional será suministrada por la Usina de Rincón del Bonete y por la Central térmica de Montevideo en servicio mixto. La Usina hidroeléctrica suministrará generalmente la mayor parte de la energía requerida y la Central térmica sólo trabajará para cubrir los picos de carga y suministrará la potencia desvatada necesaria. Este será el servicio normal.

Si en el transcurso de una sequía prolongada se produce un déficit de agua tal que no pueda continuarse ya el servicio normal, entonces la Usina térmica suministrará la energía de base mientras que la Usina de Rincón del Bonete trabajará solamente en los picos de carga. La magnitud del embalse permitirá reducir la duración de este servicio deficitario a la de las sequías extraordinarias mientras que en las sequías normales anuales podrá darse el servicio normal sin ninguna restricción

En el servicio normal la Usina de Rincón del Bonete suministrará a las barras 30 k.V. de Montevideo 116 M.W. con cos. $\varphi = 1$ En el servicio deficitario suministrará una carga de punta de 45 M.W. con cos $\varphi = 0.9$.